

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
6. Mai 2004 (06.05.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/038332 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: G01C 19/56

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/010971

(22) Internationales Anmeldedatum:  
2. Oktober 2003 (02.10.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
102 48 736.7 18. Oktober 2002 (18.10.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): LITEF GMBH [DE/DE]; Lörracher Str. 18, 79115  
Freiburg (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): SCHRÖDER, Werner  
[DE/DE]; Büsagestrasse 14, 77955 Ettenheim (DE).

(74) Anwalt: MÜLLER, Frithjof, E.; Müller . Hoffmann &  
Partner, Innere Wiener Strasse 17, 81667 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (national): CA, CZ, JP, PL, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT,  
BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR,  
HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

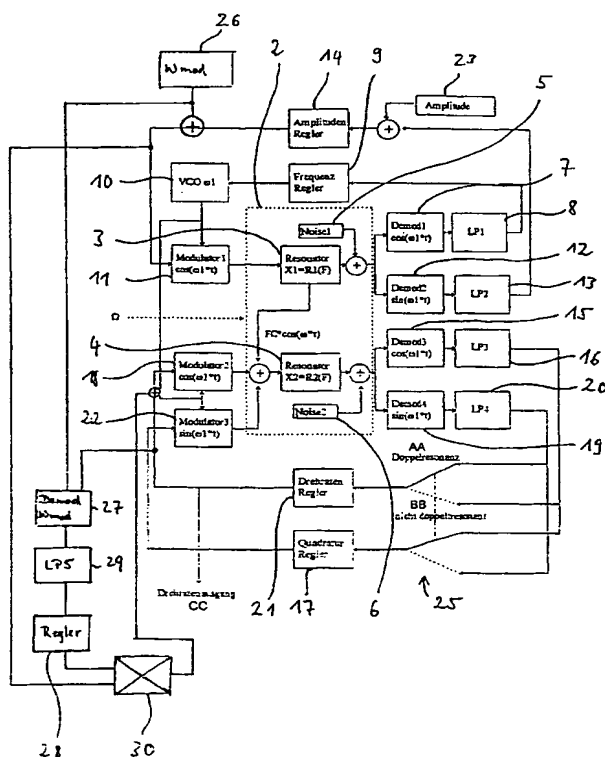
Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR DETECTING A ZERO-POINT ERROR OF A CORIOLIS GYROSCOPE AND CORIOLIS GYRO-  
SCOPE USING SAID METHOD

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG EINES NULLPUNKTFEHLERS EINES CORIOLISKREISELS UND  
SOLCH EIN VERFAHREN VERWENDENDER CORIOLISKREISEL



14... AMPLITUDE REGULATOR  
9... FREQUENCY REGULATOR  
AA... DOUBLE RESONANCE  
21... ROTATIONAL SPEED REGULATOR

17... QUADRATURE REGULATOR  
BB... NON-DOUBLE RESONANT  
25... REGULATOR  
CC... ROTATIONAL SPEED OUTPUT

(57) Abstract: The invention relates to a method for detecting the zero-point error of a Coriolis gyroscope (1), wherein the resonator (2) of the Coriolis gyroscope (1) is exposed to a disturbing force in such a way that the exciting vibration of the resonator (2) is modified and a modification of the readout vibration of the resonator (2), which is brought about by partial components of the disturbing force, is extracted from a readout signal representing the readout vibration of the resonator (2) as a dimension representing the zero-point error.

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Ermittlung des Nullpunktfehlers eines Corioliskreisel (1') wird der Resonator (2) des Corioliskreisel (1') durch eine Störkraft so beaufschlagt, dass eine Änderung der Anregungsschwingung des Resonators (2) bewirkt wird, und eine Änderung der Ausleseschwingung des Resonators (2), die durch eine Teilkomponente der Störkraft bewirkt wird, als Mass für den Nullpunktfehler aus einem die Ausleseschwingung des Resonators (2) repräsentierenden Auslesesignal extrahiert wird.

BEST AVAILABLE COPY



---

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG EINES NULLPUNKTFEHLERS EINES CORIOLISKREISELS UND SOLCH  
EIN VERFAHREN VERWENDENDER CORIOLISKREISEL

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung des Nullpunktfehlers bei einem Corioliskreisel.

5

Corioliskreisel (auch Vibrationskreisel genannt) werden in zunehmendem Umfang zu Navigationszwecken eingesetzt; sie weisen ein Massensystem auf, das in Schwingungen versetzt wird. Diese Schwingung ist in der Regel eine Überlagerung einer Vielzahl von Einzelschwingungen. Diese Einzelschwin-  
10 gungen des Massensystems sind zunächst voneinander unabhängig und lassen sich jeweils abstrakt als "Resonatoren" auffassen. Zum Betrieb eines Vibrationskreisel sind wenigstens zwei Resonatoren erforderlich: einer dieser Resonatoren (erster Resonator) wird künstlich zu Schwingungen angeregt, die im Folgenden als "Anregungsschwingung" bezeichnet wird. Der andere  
15 Resonator (zweiter Resonator) wird nur dann zu Schwingungen angeregt, wenn der Vibrationskreisel bewegt/gedreht wird. In diesem Fall treten nämlich Corioliskräfte auf, die den ersten Resonator mit dem zweiten Resonator koppeln, der Anregungsschwingung des ersten Resonators Energie entnehmen und diese auf die Ausleseschwingung des zweiten Resonators übertragen. Die Schwingung des zweiten Resonators wird im Folgenden als "Ausle-  
20 seschwingung" bezeichnet. Um Bewegungen (insbesondere Drehungen) des Corioliskreisel zu ermitteln, wird die Ausleseschwingung abgegriffen und ein entsprechendes Auslesesignal (z. B. das Ausleseschwings-Abgriffsignal) daraufhin untersucht, ob Änderungen in der Amplitude der Auslese-  
25 schwingung, die ein Maß für die Drehung des Corioliskreisel darstellen, aufgetreten sind. Corioliskreisel können sowohl als Open-Loop-System als auch als Closed-Loop-System realisiert werden. In einem Closed-Loop-System wird über jeweilige Regelkreise die Amplitude der Ausleseschwingung fortlaufend auf einen festen Wert – vorzugsweise null – rückgestellt.

30

Im Folgenden wird zur weiteren Verdeutlichung der Funktionsweise eines Corioliskreisel unter Bezugnahme auf Figur 2 ein Beispiel eines Corioliskreisel in Closed-Loop-Ausführung beschrieben.

35

Ein solcher Corioliskreisel 1 weist ein in Schwingungen versetzbares Massensystem 2 auf, das im Folgenden auch als "Resonator" bezeichnet wird. Diese Bezeichnung ist zu unterscheiden von den oben erwähnten "abstrak-

1     ten" Resonatoren, die Einzelschwingungen des "echten" Resonators darstel-  
len. Wie bereits erwähnt, kann der Resonator 2 als System aus zwei "Reso-  
natoren" (erster Resonator 3 und zweiter Resonator 4) aufgefasst werden.  
Sowohl der erste als auch der zweite Resonator 3, 4 sind jeweils an einen  
5     Kraftgeber (nicht gezeigt) und an ein Abgriffsystem (nicht gezeigt) gekoppelt.  
Das Rauschen, das durch die Kraftgeber und die Abgriffsysteme erzeugt  
wird, ist hier durch Noise1 (Bezugszeichen 5) und Noise2 (Bezugszeichen 6)  
schematisch angedeutet.

10    Der Corioliskreis 1 weist des Weiteren vier Regelkreise auf:

Ein erster Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung (d.h. der  
Frequenz des ersten Resonators 3) auf eine feste Frequenz (Resonanzfre-  
quenz). Der erste Regelkreis weist einen ersten Demodulator 7, ein erstes  
15    Tiefpassfilter 8, einen Frequenzregler 9, einen VCO ("Voltage Controlled  
Oscillator") 10 und einen ersten Modulator 11 auf.

Ein zweiter Regelkreis dient zur Regelung der Anregungsschwingung auf  
eine konstante Amplitude und weist einen zweiten Demodulator 12, ein  
20    zweites Tiefpassfilter 13 und einen Amplitudenregler 14 auf.

Ein dritter und ein vierter Regelkreis dienen zur Rückstellung derjenigen  
Kräfte, die die Ausleseschwingung anregen. Dabei weist der dritte Regelkreis  
einen dritten Demodulator 15, ein drittes Tiefpassfilter 16, einen Quadratur-  
25    regler 17 und einen zweiten Modulator 18 auf. Der vierte Regelkreis enthält  
einen vierten Demodulator 19, ein viertes Tiefpassfilter 20, einen Drehraten-  
regler 21 und einen dritten Modulator 22.

Der erste Resonator 3 wird mit dessen Resonanzfrequenz  $\omega_1$  angeregt. Die  
30    resultierende Anregungsschwingung wird abgegriffen, mittels des ersten De-  
modulators 7 in Phase demoduliert, und ein demoduliertes Signalanteil wird  
dem ersten Tiefpassfilter 8 zugeführt, der daraus die Summenfrequenzen  
entfernt. Das abgegriffene Signal wird im Folgenden auch als Anregungs-  
schwingungs-Abgriffsignal bezeichnet. Ein Ausgangssignal des ersten Tief-  
35    passfilters 8 beaufschlagt einen Frequenzregler 9, der in Abhängigkeit des  
ihm zugeführten Signals den VCO 10 so regelt, dass die In-Phase-Kompo-  
nente im Wesentlichen zu Null wird. Dazu gibt der VCO 10 ein Signal an den

1 ersten Modulator 11, der seinerseits einen Kraftgeber so steuert, dass der  
erste Resonator 3 mit einer Anregungskraft beaufschlagt wird. Ist die In-  
Phase-Komponente Null, so schwingt der erste Resonator 3 auf seiner Reso-  
nanzfrequenz  $\omega_1$ . Es sei erwähnt, dass sämtliche Modulatoren und Demodu-  
5 latoren auf Basis dieser Resonanzfrequenz  $\omega_1$  betrieben werden.

Das Anregungsschwingungs-Abgriffssignal wird des Weiteren dem zweiten Re-  
gelkreis zugeführt und durch den zweiten Demodulator 12 demoduliert, des-  
sen Ausgabe das zweite Tiefpassfilter 13 passiert, dessen Ausgangssignal  
10 wiederum dem Amplitudenregler 14 zugeführt wird. In Abhängigkeit dieses  
Signals und eines Soll-Amplitudengebers 23 regelt der Amplitudenregler 14  
den ersten Modulator 11 so, dass der erste Resonator 3 mit einer konstan-  
ten Amplitude schwingt (d.h. die Anregungsschwingung weist eine konstante  
Amplitude auf).

15 Wie bereits erwähnt wurde, treten bei Bewegung/Drehungen des Coriolis-  
kreisels 1 Corioliskräfte – in der Zeichnung durch den Term  $FC \cdot \cos(\omega_1 \cdot t)$  an-  
gedeutet – auf, die den ersten Resonator 3 mit dem zweiten Resonator 4 kop-  
peln und damit den zweiten Resonator 4 zum Schwingen anregen. Eine re-  
sultierende Ausleseschwingung der Frequenz  $\omega_2$  wird abgegriffen, sodass ein  
20 entsprechendes Ausleseschwingungs-Abgriffssignal (Auslesesignal) sowohl  
dem dritten als auch dem vierten Regelkreis zugeführt wird. Im dritten Re-  
gelkreis wird dieses Signal durch den dritten Demodulator 15 demoduliert,  
Summenfrequenzen durch das dritte Tiefpassfilter 16 entfernt und das tief-  
passgefilterte Signal dem Quadraturregler 17 zugeführt, dessen Ausgangs-  
25 signal den dritten Modulator 22 so beaufschlagt, dass entsprechende Qua-  
draturanteile der Ausleseschwingung rückgestellt werden. Analog hierzu  
wird im vierten Regelkreis das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal durch den  
vierten Demodulator 19 demoduliert, durchläuft das vierte Tiefpassfilter 20,  
30 und ein entsprechend tiefpassgefiltertes Signal beaufschlagt einerseits den  
Drehratenregler 21, dessen Ausgangssignal proportional zur momentanen  
Drehrate ist und als Drehraten-Messergebnis auf einen Drehratenausgang  
24 gegeben wird, und andererseits den zweiten Modulator 18, der entspre-  
chende Drehratenanteile der Ausleseschwingung rückstellt.

35 Ein Corioliskreis 1 wie oben beschrieben kann sowohl doppelresonant als  
auch nichtdoppelresonant betrieben werden. Wird der Corioliskreis 1 dop-

1 pelresonant betrieben, so ist die Frequenz  $\omega_2$  der Ausleseschwingung annähernd gleich der Frequenz  $\omega_1$  der Anregungsschwingung, wohingegen im nichtdoppelresonanten Fall die Frequenz  $\omega_2$  der Ausleseschwingung verschieden von der Frequenz  $\omega_1$  der Anregungsschwingung ist. Im Fall der  
5 Doppelresonanz beinhaltet das Ausgangssignal des vierten Tiefpassfilters 20 entsprechende Information über die Drehrate, im nichtdoppelresonanten Fall dagegen das Ausgangssignal des dritten Tiefpassfilters 16. Um zwischen den unterschiedlichen Betriebsarten doppelresonant/nichtdoppelresonant umzuschalten, ist ein Doppelschalter 25 vorgesehen, der die Ausgänge des  
10 dritten und vierten Tiefpassfilters 16, 20 wahlweise mit dem Drehratenregler 21 und dem Quadraturregler 17 verbindet.

Aufgrund unvermeidbarer Fertigungstoleranzen lässt es sich nicht vermeiden, dass das Kraftgebersystem, das den ersten Resonator (Anregungsschwingung) anregt, auch den zweiten Resonator (Ausleseschwingung) leicht  
15 anregt. Das Ausleseschwingungs-Abgriffssignal setzt sich also aus einem Teil, der durch Corioliskräfte hervorgerufen wird, und einem Teil, der unerwünscht durch Fertigungstoleranzen hervorgerufen wird, zusammen. Der unerwünschte Teil verursacht einen Nullpunktfehler des Corioliskreisels, dessen Größe jedoch nicht bekannt ist, da beim Abgreifen des Ausleseschwingungs-Abgriffssignals nicht zwischen diesen beiden Teilen differenziert  
20 werden kann.

Die der Erfindung zugrunde liegende Aufgabe ist es, ein Verfahren bereit zu stellen, mit dem der oben beschriebene Nullpunktfehler bestimmt werden  
25 kann.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren gemäß den Merkmalen des Patentanspruchs 1 gelöst. Ferner stellt die Erfindung einen Corioliskreisel gemäß  
30 Patentanspruch 7 bereit. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen des Erfindungsgedankens finden sich in jeweiligen Unteransprüchen.

Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren zur Ermittlung eines Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels der Resonator des Corioliskreisels durch eine  
35 Störkraft so beaufschlagt, dass im Wesentlichen eine Änderung der Anregungsschwingung des Resonators bewirkt wird, wobei eine Änderung der Ausleseschwingung des Resonators durch eine Teilkomponente der Störkraft

- 1 als Maß für den Nullpunktfehler aus einem die Ausleseschwingung des Resonators repräsentierenden Auslesesignal extrahiert wird.

- 5 Unter "Resonator" wird hierbei das gesamte in Schwingung versetzbare Massensystem des Corioliskreisels verstanden, also mit Bezug auf Fig. 2 der mit Bezugsziffer 2 gekennzeichnete Teil des Corioliskreisels.

- 10 Eine der Erfindung zugrunde liegende wesentliche Erkenntnis ist, dass eine künstliche Änderung der Anregungsschwingung durch Beaufschlagen des Resonators mit entsprechenden Störkräften im Ausleseschwungs-Abgriffsignal beobachtbar ist: Die Änderung (Modulation) der Anregungsschwingung bewirkt aufgrund der Fertigungstoleranzen des Corioliskreisels auch eine Änderung der Ausleseschwingung. Mit anderen Worten: Die Störkraft beaufschlagt im Wesentlichen den ersten Resonator, eine Teilkomponente  
15 dieser Störkraft beaufschlagt jedoch auch den zweiten Resonator. Die "Durchschlagsstärke" einer derartigen Störung auf das Ausleseschwungs-Abgriffsignal ist also ein Maß für den Nullpunktfehler ("Bias") des Corioliskreisels. Ermittelt man also die Stärke des in dem Auslesesignal enthaltenen Störanteils und vergleicht man diesen mit der Stärke der Störkraft (Änderung der Anregungsschwingung), so lässt sich daraus der Nullpunktfehler ableiten. Ein dem Störanteil proportionales Störanteilsignal kann dann direkt zur Kompensation des Nullpunktfehlers verwendet werden.

- 25 Vorzugsweise werden die Störkräfte durch Störsignale erzeugt, die entsprechenden Kraftgebern zugeführt werden bzw. auf Signale, die den Kraftgebern zugeführt werden, aufaddiert werden. Beispielsweise kann, um eine Störkraft zu erzeugen, ein Störsignal auf jeweilige Regelsignale zur Regelung der Anregungsschwingung aufaddiert werden.

- 30 Vorzugsweise ist das Störsignal ein Wechsignal, beispielsweise eine Überlagerung von Sinus- bzw. Kosinussignalen. Ein derartiges Wechsignal erzeugt über entsprechende Kraftgeber eine Wechselkraft, die die Anregungsschwingung in ihrer Amplitude moduliert. Das Wechsignal weist in der Regel eine feste Störfrequenz auf, womit der Störanteil des Ausleseschwungs-Abgriffsignals durch einen entsprechenden Demodulationsprozess,  
35 der bei besagter Störfrequenz erfolgt, ermittelt werden kann.

- 1 Die Störfrequenz des Störsignals/der Störkraft weist vorzugsweise eine Periode auf, die wesentlich kleiner als eine Zeitkonstante der Anregungsschwingung, jedoch in der Größenordnung oder größer als eine Zeitkonstante des Corioliskreisels ist. Eine Alternative ist, anstelle eines Wechselsignals bandbegrenzt  
5 Rauschen als Störsignal zu verwenden. In diesem Fall erfolgt die Demodulation durch Korrelation des Rauschsignals mit dem Signal, das den Störanteil enthält (z. B. das Ausleseschwings-Abgriffsignal).

Das oben beschriebene Verfahren kann sowohl auf einen Open-Loop- als auch auf einen Closed-Loop-Corioliskreisler angewandt werden. Im letzteren Fall lässt sich eine Kompensation des Nullpunktfehlers auf folgende Art und Weise erreichen: Es wird eine Linearkombination aus einem geregelten Teil eines Wechselsignals, das die Anregungsschwingung erzeugt, vorzugsweise einschließlich des Störsignals, und einem Wechselsignal, das eine Rückstellung der Ausleseschwingung bewirkt, gebildet und auf einen Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis des Corioliskreisels gegeben. Der geregelte Teil wird hierbei so geregelt, dass die aus dem Auslesesignal ermittelte Änderung der Ausleseschwingung durch die Modulation (d. h. der Störanteil) möglichst klein wird.

Der Störanteil kann beispielsweise direkt aus dem Ausleseschwings-Abgriffsignal ermittelt werden. Der Begriff "Auslesesignal" beinhaltet dieses Signal sowie das Signal, das an einem Quadraturregler eines Quadraturregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird, bzw. das Signal, das an einem Drehratenregler eines Drehratenregelkreises anliegt oder von diesem ausgegeben wird.

Die Erfindung stellt weiterhin einen Corioliskreisler bereit, der gekennzeichnet ist durch eine Einrichtung zur Bestimmung des Nullpunktfehlers des Corioliskreisels. Die Einrichtung weist auf:

- eine Störeinheit, die den Resonator des Corioliskreisels mit einer Störkraft so beaufschlagt, dass die Anregungsschwingung des Resonators moduliert wird,
- eine Störsignal-Detektiereinheit, die einen Störanteil, der in einem die Ausleseschwingung repräsentierenden Auslesesignal enthalten ist und durch eine Teilkomponente der Störkraft erzeugt wurde, als Maß für den Nullpunktfehler ermittelt.



- 1 Wenn die Störkraft durch eine Wechselkraft mit einer bestimmten Störfre-  
quenz gegeben ist, weist die Störsignal-Detektiereinheit eine Demodulations-  
einheit auf, mit der das Auslesesignal einem Demodulationsprozess (syn-  
chrone Demodulation mit der Störfrequenz) unterzogen wird. Auf diese Wei-  
5 se wird aus dem Auslesesignal der Störanteil ermittelt. Alternativ kann  
bandbegrenztes Rauschen als Störsignal Verwendung finden.

Vorzugsweise ist der Corioliskreisels rückstellend, weist also einen Drehra-  
tenregelkreis und einen Quadraturregelkreis auf. Im Falle eines rückstellen-  
10 den Corioliskreisels ist zur Kompensation des Nullpunktfehlers vorteilhafter-  
weise eine Regeleinheit vorgesehen. Die Regeleinheit erzeugt eine Linear-  
kombination aus einem geregelten Teil eines Wechselsignals, das die Anre-  
gungsschwingung erzeugt (vorzugsweise einschließlich des Störsignals), und  
einem Wechselsignal, das eine Rückstellung der Ausleseschwingung bewirkt,  
15 und gibt dieses zusammengesetzte Signal auf den Drehratenregelkreis/Qua-  
draturregelkreis des Corioliskreisels. Die Linearkombination der Signale  
wird durch die Regeleinheit hierbei so geregelt, dass der aus dem Auslesesi-  
gnal ermittelte Störanteil der Ausleseschwingung möglichst klein wird. Da-  
mit ist der Nullpunktfehler des Corioliskreisels kompensiert.

20 Die Störsignal-Detektiereinheit ermittelt den Störanteil vorzugsweise aus ei-  
nem Signal, das von einem Drehratenregler des Drehratenregelkreises aus-  
gegeben wird, wobei in diesem Beispiel die Regeleinheit die Linearkombinati-  
on der Signale auf ein Ausgangssignal des Drehratenreglers aufaddiert.

25 Im Folgenden wird unter Bezugnahme auf die begleitenden Figuren die Er-  
findung in beispielsweiser Ausführungsform näher erläutert. Es zeigen:

30 **Figur 1** den schematischen Aufbau eines Corioliskreisels, der auf dem er-  
findungsgemäßen Verfahren basiert;

**Figur 2** den schematischen Aufbau eines herkömmlichen Corioliskreisels;

35 **Figur 3** eine Skizze zur Erläuterung des Zusammenspiels von Resonator,  
Kraftgebersystem und Abgriffsystem in einem Corioliskreisels;

**Figuren 4a bis 4d** eine Skizze zur Erläuterung der Kräfte und Schwingungs-

1                    amplituden für einen Corioliskreisel in Doppelresonanz;

**Figuren 5a bis 5d** eine Skizze zur Erläuterung der Kräfte und Schwingungs-  
amplituden für einen Corioliskreisel nahe Doppelresonanz;

5

**Figuren 6a bis 6d** eine Skizze zur Erläuterung des erfindungsgemäßen Ver-  
fahrens.

10            In den Zeichnungen sind Teile bzw. Einrichtungen, die denen aus Figuren  
entsprechen, mit den selben Bezugszeichen gekennzeichnet und werden nicht  
nochmals erläutert.

15            Zunächst soll die generelle Funktionsweise eines Corioliskreisels anhand der  
Figuren 3 bis 5 in Form einer Zeigerdiagrammdarstellung (Gauß'sche Zahl-  
ebene) nochmals erläutert werden.

20            Figur 3 zeigt schematisch einen Corioliskreisel, genauer gesagt ein System  
40 aus Resonator (nicht gezeigt), Kraftgebersystem 41 und Abgriffsystem 42  
in einem Corioliskreisel. Weiterhin sind mögliche Schwingungen  $x$  (Anre-  
gung) und  $y$  (Auslesung) angedeutet, die bei Drehungen senkrecht zur Zei-  
chenebene durch Corioliskräfte miteinander verkoppelt werden. Die  $x$ -  
Schwingung (komplex) wird durch die Wechselkraft mit der komplexen Am-  
plitude  $F_x$  (hier nur Realteil  $F_{xr}$ ) angeregt. Die  $y$ -Schwingung (komplex) wird  
25 durch die Wechselkraft der komplexen Amplitude  $F_y$  mit dem Realteil  $F_{yr}$   
und dem Imaginärteil  $F_{yi}$  rückgestellt. Die Drehzeiger  $\exp(i\omega t)$  sind jeweils  
weggelassen.

30            Figuren 4a bis 4d zeigen die komplexen Kräfte und komplexen Schwin-  
gungsamplituden für einen idealen Corioliskreisel mit gleicher Resonanzfre-  
quenz von  $x$ - und  $y$ -Schwingung (Doppelresonanz). Die Kraft  $F_{xr}$  und die An-  
regungsfrequenz des Kreisels werden so geregelt, dass sich eine rein imagi-  
näre, konstante  $x$ -Schwingung einstellt. Dies wird erreicht durch einen Am-  
plitudenregler 14, der den Betrag der  $x$ -Schwingung regelt, sowie einen Pha-  
senregler 10, der die Phase der  $x$ -Schwingung regelt. Die Betriebsfrequenz  
35  $\omega_l$  wird so geregelt, dass die  $x$ -Schwingung rein imaginär wird, d.h. der  
Realteil der  $x$ -Schwingung auf null geregelt wird.

- 1 Die Corioliskraft bei Drehung,  $F_C$ , ist nun rein reell, da die Corioliskraft der Geschwindigkeit der x-Schwingung proportional ist. Haben beide Schwingungen die gleiche Resonanzfrequenz, so gestaltet sich die y-Schwingung, verursacht durch die Kraft  $F_C$ , wie in Fig. 4d dargestellt. Sind die Resonanz-
- 5 frequenzen von x-und y-Schwingung leicht verschieden, so liegen komplexe Kräfte und komplexe Schwingungsamplituden vor, die sich wie in Figuren 5a bis 5d gezeigt gestalten. Insbesondere liegt eine durch  $F_C$  angeregte y-Schwingung wie in Figur 5d gezeigt vor.
- 10 Bei Vorliegen von Doppelresonanz ist der Realteil des y-Abgriffsignals null, bei Nichtvorliegen hingegen nicht. In beiden Fällen wird bei rückgestellten Kreisel die Corioliskraft  $F_C$  durch einen Regler für  $F_{yR}$ , der  $F_C$  kompensiert, genullt. Bei Corioliskreiseln, die doppelresonant betrieben werden, wird der Imaginärteil von y mittels  $F_{yR}$  genullt, der Realteil von y wird mit-
- 15 tels  $F_{yI}$  genullt. Die Bandbreite der beiden Regelungen beträgt etwa 100 Hz.

Nun wird unter Bezugnahme auf Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren in beispielsweise Ausführungsform näher erläutert.

- 20 Ein rückstellender Corioliskreisel 1' ist zusätzlich mit einer Störeinheit 26, einer Demodulationseinheit 27, einer Regeleinheit 28, einem fünften Tiefpassfilter 29 und einem Multiplikator 30 versehen.

- Die Störeinheit 26 erzeugt ein Wechselsignal mit einer Frequenz  $\omega_{mod}$ , das
- 25 auf das Ausgabesignal des Amplitudenreglers 14 aufaddiert wird. Alternativ kann anstelle des Wechselsignals auch bandbegrenztes Rauschen als Störsignal Verwendung finden. Ferner wird dieses Wechselsignal der Demodulationseinheit 27 zugeführt. Das somit erhaltene zusammengesetzte Signal (Ausgabesignal des Amplitudenreglers und Wechselsignal) wird einem (er-
- 30 sten) Modulator 11 zugeführt, dessen entsprechendes Ausgabesignal einen Kraftgeber (nicht gezeigt) und damit den Resonator 2 beaufschlagt. Damit wird der Resonator 2 zusätzlich mit einer Wechselkraft, die dem Wechselsignal entspricht, beaufschlagt. Diese Wechselkraft lässt sich nach "Durchgang" durch den Resonator 2 in Form eines Störanteils des Ausleseschw-
- 35 ings-Abgriffsignals beobachten. In diesem Beispiel wird, um den Störanteil zu ermitteln, das Signal, das vom Drehratenregler ausgegeben wird, einem Demodulationsprozess unterzogen, der durch die Demodulationseinheit 27

- 1 ausgeführt wird und bei der Frequenz  $\omega_{\text{mod}}$  (Störfrequenz) erfolgt. Das so-  
mit erhaltene Signal (Störanteil) wird durch das fünfte Tiefpassfilter 29 gefil-  
tert und der Regeleinheit 28 zugeführt. Das der Regeleinheit 28 zugeführte  
Signal stellt ein Maß für den Nullpunktfehler dar. Die Regeleinheit 28 er-  
5 zeugt in Abhängigkeit des ihr zugeführten Signals ein Ausgabesignal, das  
dem Multiplikator 30 zugeführt wird und so beschaffen ist, dass der Störan-  
teil des Ausleseschwungs-Abgriffsignals möglichst klein geregelt wird.  
Der Multiplikator 30 multipliziert das zusammengesetzte Signal (Ausgabesi-  
gnal des Amplitudenreglers und Wechselsignal), das diesem zugeführt wird,  
10 mit dem Ausgabesignal der Regeleinheit 28 und erzeugt damit ein Ausgangs-  
signal, das auf das Signal, das vom Drehratenregler ausgegeben wird, aufad-  
diert wird. Damit wird der Bias des Corioliskreisels zurückgestellt. Das der  
Demodulationseinheit 27 zugeführte Signal kann alternativ auch das Signal  
sein, das dem Drehratenregler 21 zugeführt wird bzw. dem Quadraturregler  
15 17 zugeführt/vom Quadraturregler 17 ausgegeben wird. Auch kann das der  
Demodulationseinheit 27 zugeführte Signal das Ausleseschwungs-Abgriff-  
signal selbst sein. Im letzteren Fall muss bei der Demodulation auch die Be-  
triebsfrequenz  $\omega$  berücksichtigt werden.
- 20 Ferner ist es prinzipiell möglich, das Ausgabesignal des Multiplikators 30  
an einer beliebigen Stelle in den Drehratenregelkreis einzuspeisen (nicht nur  
unmittelbar vor dem zweiten Modulator 18), d. h. an einer beliebigen Stelle  
zwischen dem Abgriff für die Ausleseschwingung und dem dritten Modulator  
22. Analoge Überlegungen gelten für den Fall, das Störsignal in den Quadra-  
25 turregelkreis einzuspeisen.

Das eben beschriebene erfindungsgemäße Verfahren lässt sich unter Bezug-  
nahme auf Figuren 6a bis 6d auch wie folgt darstellen:

- 30 Die Ausleseschwingung wird aufgrund von Fertigungstoleranzen i. a. einen  
kleinen Teil der Anregungskraft  $F_{xr}$  "sehen":  $k_{Fyx} \cdot F_{xr}$ . Bei geschlossenem  
 $F_{yr}$ -Regelkreis wird  $F_{yr}$  dadurch um  $k_{Fyx} \cdot F_{yr}$  gegenüber dem korrekten  
Wert verändert. Es entsteht ein entsprechender Bias, da  $F_{yr}$  ein Maß für die  
Drehrate ist. Zur Kompensation dieses Fehlers wird nun die Amplitude von  
35  $F_{xr}$  mittels der Störeinheit 26 mittelwertfrei moduliert. Die Modulationsfre-  
quenz oder die Frequenzen des bandbegrenzten Modulationsrauschens soll-  
ten so gewählt werden, dass die Anregungsschwingung möglichst wenig ge-

1 stört wird, der Drehratenregelkreis aber über den Anteil  $K_{Fyx} \cdot F_{xr}$  möglichst  
stark gestört wird. Der Fehlanteil in  $F_{yr}$ ,  $k_{Fyx} \cdot F_{xr}$  wird nun durch Addition  
eines geregelten Anteils  $k_{Fyxcomp} \cdot F_{xr}$  zu  $F_{yr}$  derart kompensiert, dass die  
Modulation im Drehratenkanal verschwindet. Hierzu ist  $k_{Fyxcomp}$ , der von  
5 der Reglereinheit 28 ausgegeben wird, (vorzugsweise softwaretechnisch) zu  
regeln. Das Eingangssignal eines entsprechenden Reglers (Reglereinheit 28)  
ist das mit der Modulationsfrequenz synchron demodulierte Signal von  $F_{yr}$ .  
Ist der Regler abgestimmt, so verschwindet das Modulationssignal im  
Drehratenkanal, ein Sperrfilter für die Modulationsfrequenz ist im Drehra-  
10 tenausgang daher nicht erforderlich.

15

20

25

30

35

1

**P a t e n t a n s p r ü c h e**

1. Verfahren zur Ermittlung des Nullpunktfehlers eines Corioliskreisels (1'), bei dem

- 5 - der Resonator (2) des Corioliskreisels (1') durch eine Störkraft so beaufschlagt wird, dass eine Änderung der Anregungsschwingung des Resonators (2) bewirkt wird, und
- eine Änderung der Ausleseschwingung des Resonators (2), die durch eine Teilkomponente der Störkraft erzeugt wird, als Maß für den Nullpunktfehler aus einem die Ausleseschwingung des Resonators (2) repräsentierenden Auslesesignal extrahiert wird.
- 10

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störkraft eine Wechselkraft ist, die die Anregungsschwingung in ihrer Amplitude moduliert.

15

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störkraft eine Störfrequenz aufweist, deren Periode wesentlich kleiner als eine Zeitkonstante der Anregungsschwingung, jedoch in der Größenordnung oder größer als eine Zeitkonstante des Corioliskreisels ist.

20

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Änderung der Ausleseschwingung erfasst wird, indem das Auslesesignal einem Demodulationsprozess auf Basis der Störfrequenz unterworfen wird.

25

5. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störkraft durch ein Störsignal, das bandbegrenztes Rauschen ist, erzeugt wird.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Linearkombination aus einem geregelten Teil eines Wechselsignals, das die Anregungsschwingung erzeugt, und einem Wechselsignal, das eine Rückstellung der Ausleseschwingung bewirkt, derart gebildet und auf einen Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis des Corioliskreisels gegeben wird, dass die aus dem Auslesesignal ermittelte Änderung der Ausleseschwingung möglichst klein wird.

30

35

1       7.     Corioliskreis (1'), **gekennzeichnet durch** eine Einrichtung zur Bestimmung des Nullpunktfehlers des Corioliskreisels (1'), mit:

–     einer Störeinheit (26), die den Resonator (2) des Corioliskreisels (1') mit einer Störkraft so beaufschlagt, dass die Anregungsschwingung des Resonators (2) moduliert wird.

–     einer Störsignal-Detektiereinheit (27), die einen Störanteil, der in einem die Ausleseschwingung repräsentierenden Auslesesignal enthalten ist und durch eine Teilkomponente der Störkraft erzeugt wurde, als Maß für den Nullpunktfehler ermittelt.

10

8.     Corioliskreis (1') nach Anspruch 7, **gekennzeichnet durch** einen Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis.

15

9.     Corioliskreis (1') nach Anspruch 8, **gekennzeichnet durch** eine Regeleinheit (28), die eine Linearkombination aus einem geregelten Teil eines Wechselsignals, das die Anregungsschwingung erzeugt, und einem Wechselsignal, das eine Rückstellung der Ausleseschwingung bewirkt, bildet und auf den Drehratenregelkreis/Quadraturregelkreis des Corioliskreisels (1') gibt, wobei die Regeleinheit die Linearkombination der Signale so regelt, dass der aus dem Auslesesignal ermittelte Störanteil der Ausleseschwingung möglichst klein wird.

20

10.    Corioliskreis (1') nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Störsignal-Detektiereinheit (27) den Störanteil aus einem Signal ermittelt, das von einem Drehratenregler (21) des Drehratenregelkreises ausgegeben wird, und die Linearkombination der Signale auf ein Ausgangssignal des Drehratenreglers (21) aufaddiert.

25

30

35

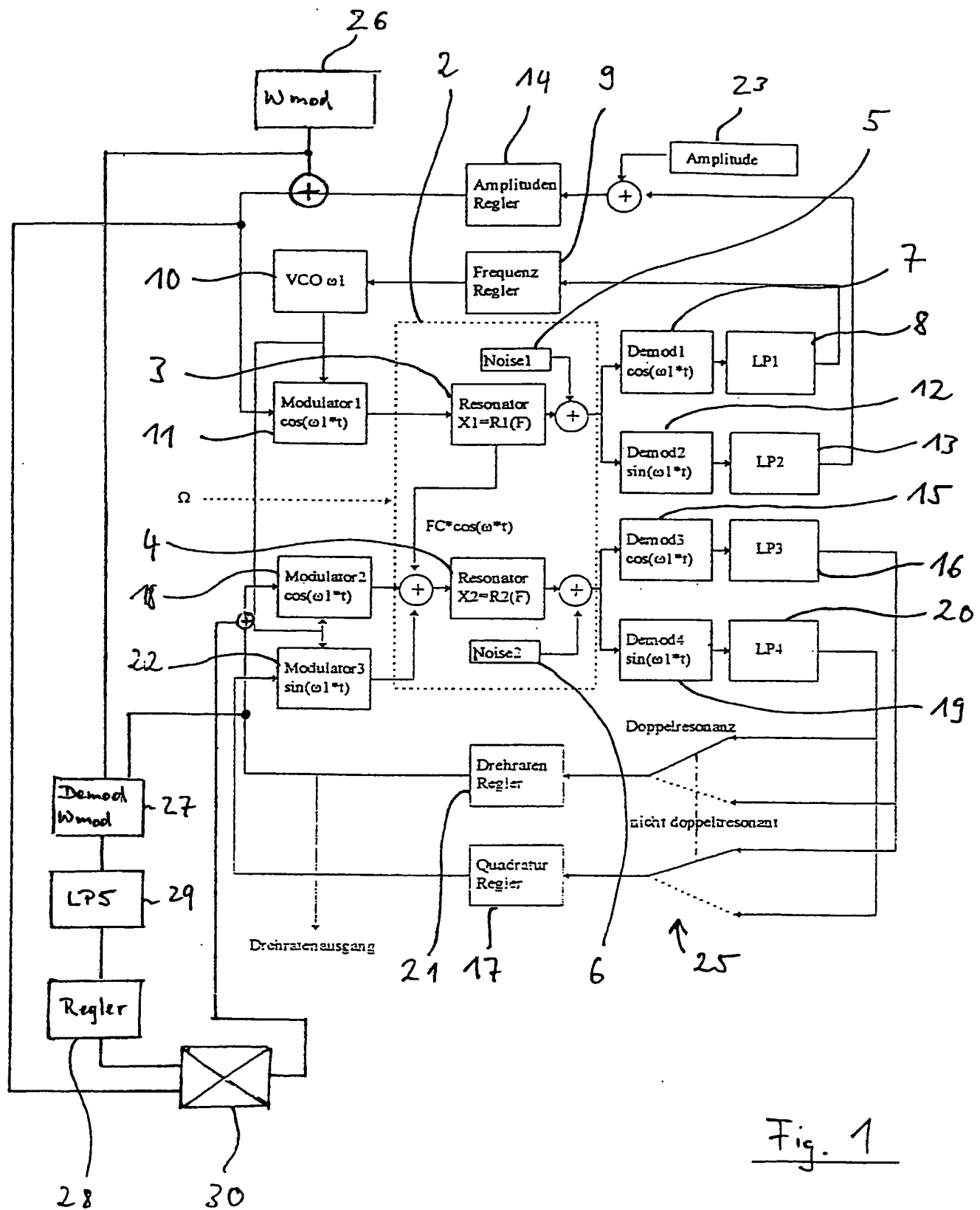
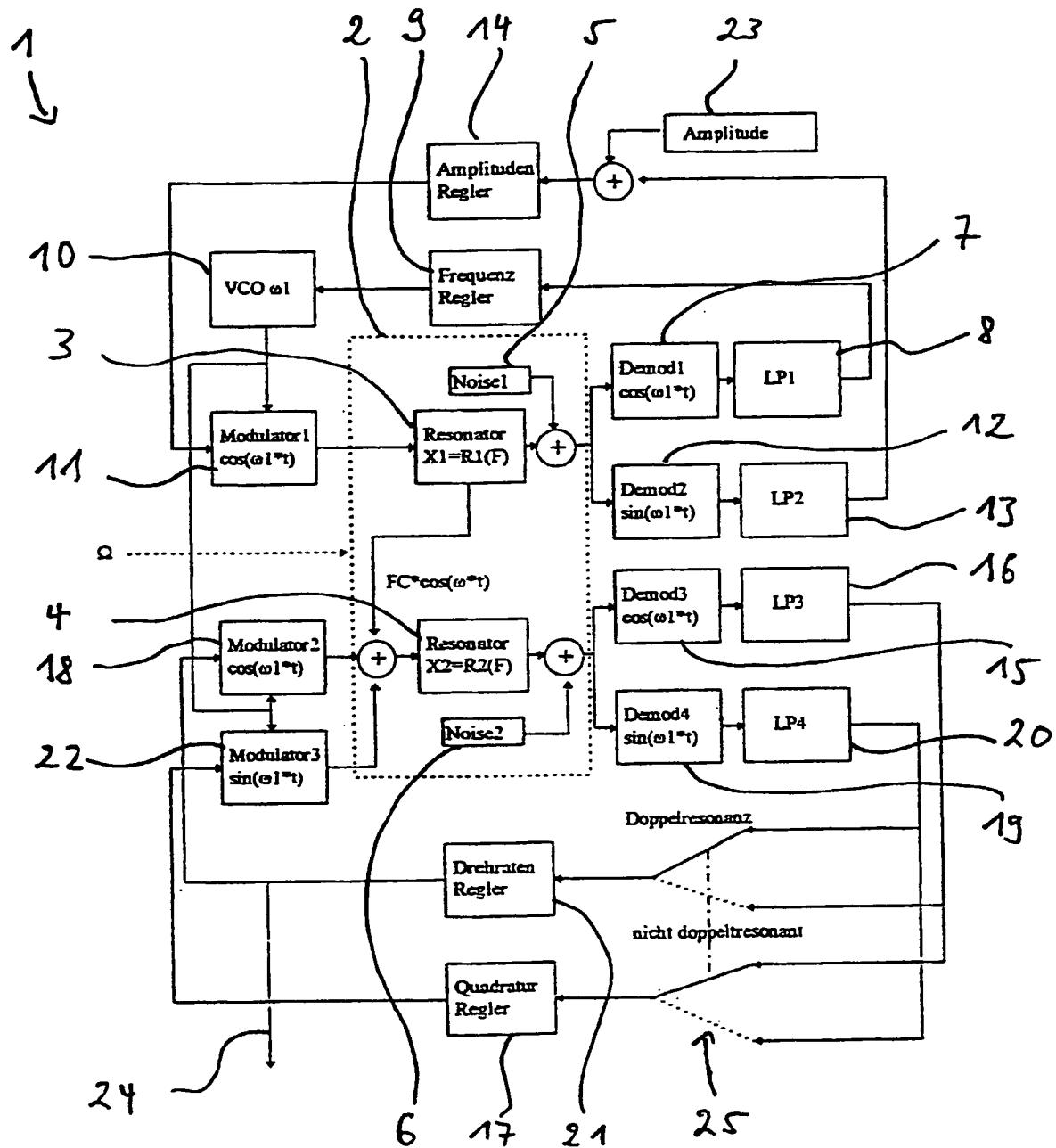
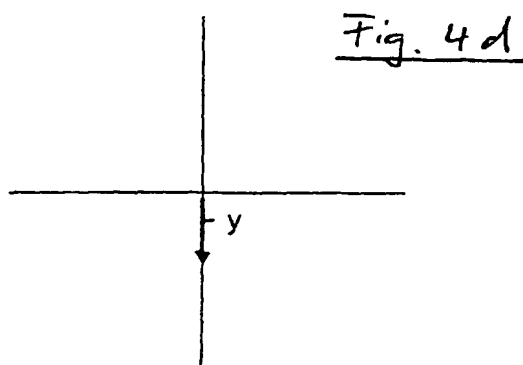
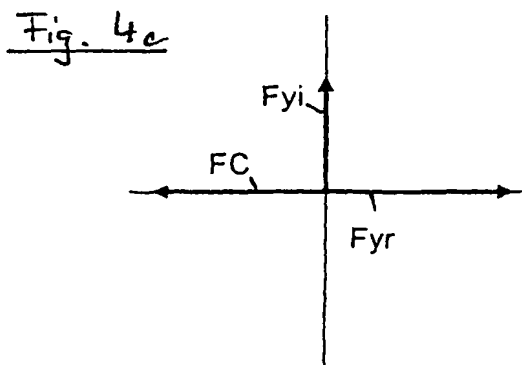
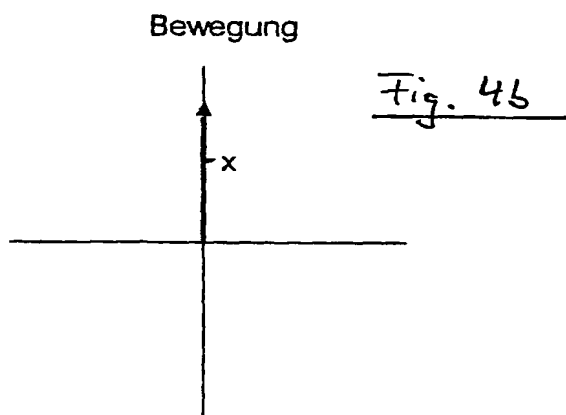
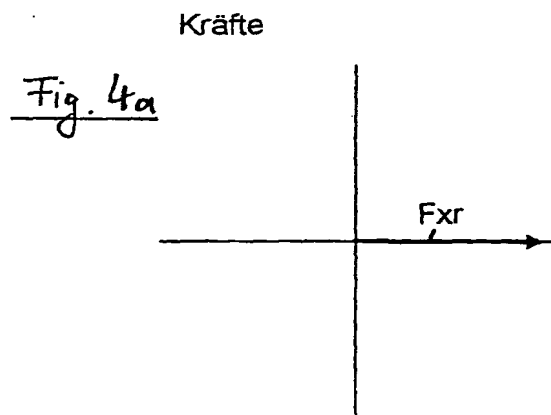
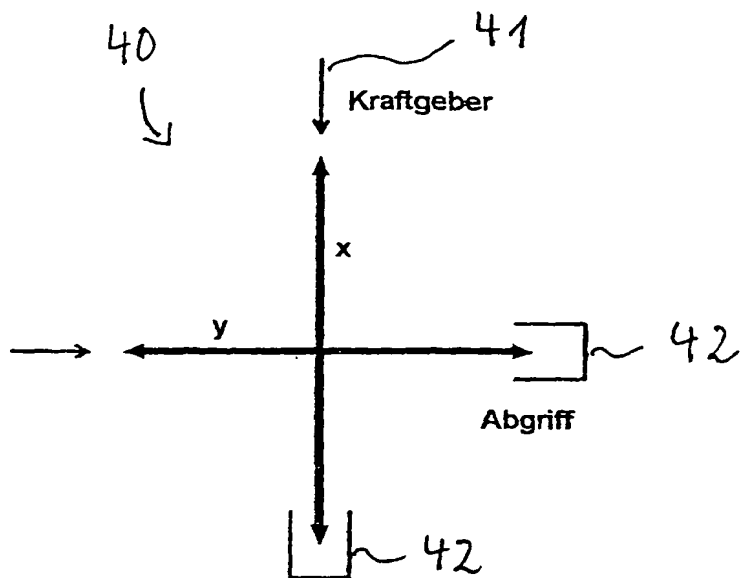




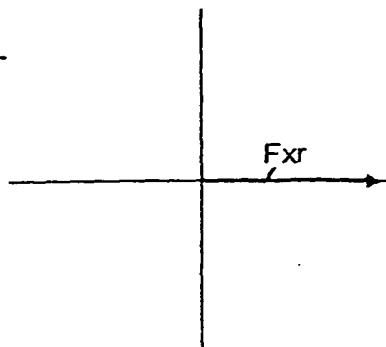
Fig. 2

3/4



Kräfte

Fig. 5a



Bewegung

Fig. 5b

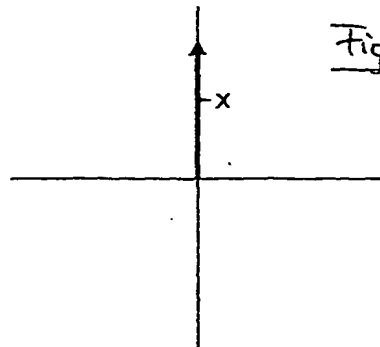


Fig. 5c

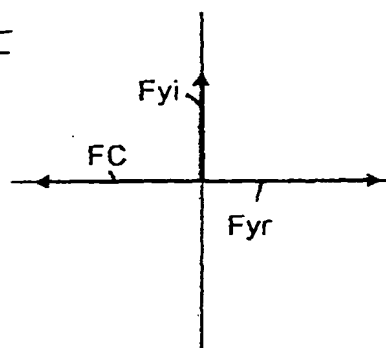
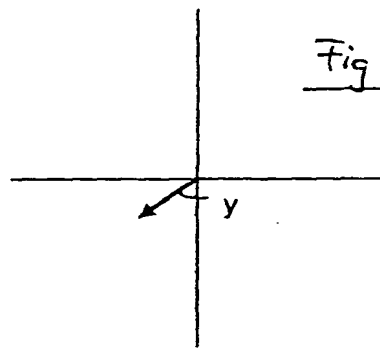
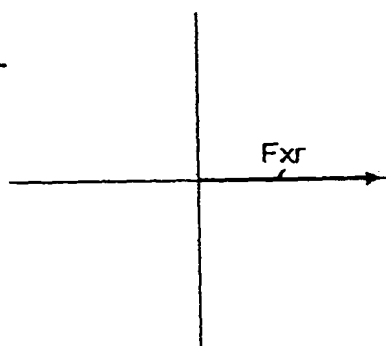


Fig. 5d



Kräfte

Fig. 6a



Bewegung

Fig. 6b

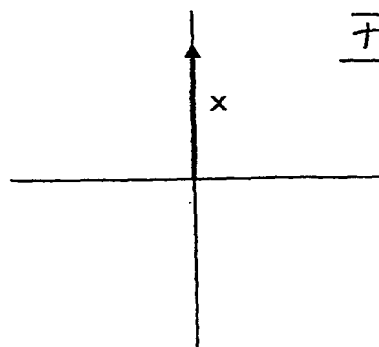


Fig. 6c

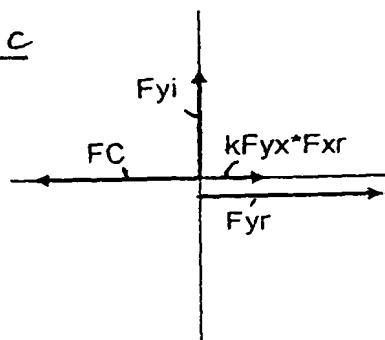
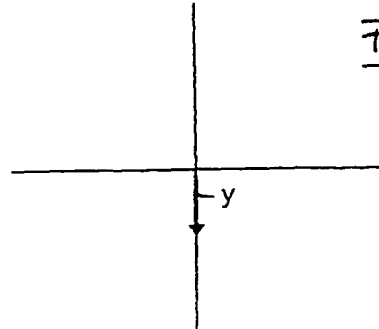


Fig. 6d



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/E 3/10971

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 G01C19/56

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 G01C G01P

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 0 711 975 A (MURATA MANUFACTURING CO) 15 May 1996 (1996-05-15) page 1, line 33 -page 4, line 13 page 6, line 21 -page 7, line 45; figures 1,5-7,9,10	1-10
A	DE 100 49 462 A (BOSCH GMBH ROBERT) 11 April 2002 (2002-04-11) column 1, line 5 - line 15 column 2, line 17 - line 41 column 3, line 26 - line 30; claim 1; figures 1,2	1-10

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

## \* Special categories of cited documents:

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the international filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 January 2004

Date of mailing of the international search report

05/02/2004

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Springer, O

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/E 3/10971

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	<p>DE 195 37 577 A (KOREA INST SCIENCE TECHNOLOGY ; HYUNDAI MOTOR CO LTD (KR)) 11 April 1996 (1996-04-11) column 4, line 42 - line 52; figure 2 column 2, line 17 - line 41 column 3, line 26 - line 30; claim 1; figures 1,2</p> <p>-----</p>	1-10

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/E 3/10971

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0711975	A	15-05-1996	JP 3149712 B2	26-03-2001
			JP 8136266 A	31-05-1996
			JP 8136267 A	31-05-1996
			DE 69525419 D1	21-03-2002
			DE 69525419 T2	20-06-2002
			EP 0711975 A2	15-05-1996
			KR 155205 B1	01-12-1998
			US 5677486 A	14-10-1997
DE 10049462	A	11-04-2002	DE 10049462 A1	11-04-2002
			WO 0229421 A1	11-04-2002
			EP 1332374 A1	06-08-2003
DE 19537577	A	11-04-1996	KR 139506 B1	15-07-1998
			DE 19537577 A1	11-04-1996
			FR 2725524 A1	12-04-1996
			JP 3434944 B2	11-08-2003
			JP 8184609 A	16-07-1996
			US 5777227 A	07-07-1998
			US 5927143 A	27-07-1999

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/E 3/10971

**A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGENSTANDES**  
IPK 7 G01C19/56

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 G01C G01P

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data, PAJ

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	EP 0 711 975 A (MURATA MANUFACTURING CO) 15. Mai 1996 (1996-05-15) Seite 1, Zeile 33 -Seite 4, Zeile 13 Seite 6, Zeile 21 -Seite 7, Zeile 45; Abbildungen 1,5-7,9,10 ----	1-10
A	DE 100 49 462 A (BOSCH GMBH ROBERT) 11. April 2002 (2002-04-11) Spalte 1, Zeile 5 - Zeile 15 Spalte 2, Zeile 17 - Zeile 41 Spalte 3, Zeile 26 - Zeile 30; Anspruch 1; Abbildungen 1,2 ----- -/--	1-10

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. Januar 2004

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

05/02/2004

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Springer, 0

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGEKÜNDIGTE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	DE 195 37 577 A (KOREA INST SCIENCE TECHNOLOGY ;HYUNDAI MOTOR CO LTD (KR)) 11. April 1996 (1996-04-11) Spalte 4, Zeile 42 - Zeile 52; Abbildung 2 Spalte 2, Zeile 17 - Zeile 41 Spalte 3, Zeile 26 - Zeile 30; Anspruch 1; Abbildungen 1,2 -----	1-10



## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationaler Patentsymbol

PCT/EP 93/10971

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0711975	A	15-05-1996	JP	3149712 B2	26-03-2001
			JP	8136266 A	31-05-1996
			JP	8136267 A	31-05-1996
			DE	69525419 D1	21-03-2002
			DE	69525419 T2	20-06-2002
			EP	0711975 A2	15-05-1996
			KR	155205 B1	01-12-1998
			US	5677486 A	14-10-1997
DE 10049462	A	11-04-2002	DE	10049462 A1	11-04-2002
			WO	0229421 A1	11-04-2002
			EP	1332374 A1	06-08-2003
DE 19537577	A	11-04-1996	KR	139506 B1	15-07-1998
			DE	19537577 A1	11-04-1996
			FR	2725524 A1	12-04-1996
			JP	3434944 B2	11-08-2003
			JP	8184609 A	16-07-1996
			US	5777227 A	07-07-1998
			US	5927143 A	27-07-1999

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☒ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**